

Departament de Física Interdisciplinària a l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats*

Introducció

La investigació en física estadística a Palma de Mallorca va començar l'any 1987 amb la incorporació des de la Universitat de Barcelona de Maxi San Miguel com a catedràtic a l'aleshores naixent Universitat de les Illes Balears (UIB), acompanyat per Emili Hernández com a estudiant de doctorat. Progressivament, el grup va anar creixent amb la incorporació tant d'altres estudiants de doctorat com d'investigadors procedents en la seva gran majoria d'altres universitats, tant espanyoles com estrangeres i, més recentment, amb algunes persones ja formades a la UIB. Aquests investigadors van ser el germen del Departament de Física Interdisciplinària (DFI) de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA), centre mixt entre la UIB i el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), creat el 1995. Els antecedents de la creació del departament inclouen una proposta per crear una unitat de física dels sistemes complexos, feta al CSIC el 1990 per Montserrat Casas, Maxi San Miguel i Raúl Toral (professors del Departament de Física de la UIB) amb l'ajuda i el suport de Javier Bermejo de l'Instituto de Estructura de la Materia del CSIC. En l'actualitat, l'IMEDEA està organitzat en dos departaments en àrees distintes: el DFI i el Departament de Recursos Naturals.

El DFI té dues seus: una repartida en diversos edificis al campus de la Universitat de les Illes Balears i una altra en un edifici històric situat a la població mallorquina d'Esporles, a pocs quilòmetres del campus i en plena serra de Tramuntana.

La investigació transversal que constitueix la marca d'identitat del DFI i fonamenta i unifica la resta d'activitats és l'estudi dels fenòmens genèrics en física no lineal i sistemes complexos. Des d'aquest planter de conceptes i idees, els investigadors assumeixen el risc de definir i actualitzar línies i projectes d'investigació específics en un esquema flexible, canviant i entrellaçat. La definició programàtica dels objectius del departament parteix de constatar que punts importants del desenvolupament científic apareixen entre les fronteres de camps establerts i proposa el desenvolupament d'una investigació interdisciplinària i estratègica des de la perspectiva dels físics.

Per *investigació interdisciplinària* entenem una actitud concretada en la voluntat de transferir coneixement i mètodes a través de les fronteres disciplinàries tradicio-

nals, i no la superposició (pluridisciplinària o multidisciplinària) d'experts en camps diversos. Per *investigació estratègica* entenem el centrar-nos en estudis avançats en camps amb potencial de futur i rellevància social en l'avenç del coneixement, evitant la dicotomia entre ciència bàsica i ciència aplicada i fugint al mateix temps de la investigació merament incremental. Això es tradueix en el fet de buscar finestres d'oportunitat en àrees emergents més enllà de les temàtiques tradicionals que van definir la física del segle XX.

La metodologia emprada en les nostres investigacions inclou activitat teòrica, numèrica/computacional i experimental. Les eines teòriques són les pròpies de la física estadística i de la dinàmica no lineal, amb un fort component de processos estocàstics, i s'incorporen a més coneixements de mecànica quàntica en el desenvolupament de nous camps estratègics com ara informació quàntica i nanociència. Una metodologia important és la de les simulacions numèriques de models apropiats per descriure la dinàmica dels sistemes en estudi. Per a aquestes simulacions disposem d'un equipament informàtic format per un agregat (*beowulf*) de disseny i construcció propis que va ser un dels primers que es van construir a Espanya i que evoluciona constantment. Actualment està format per 36 nodes Pentium IV. Així mateix disposem d'una xarxa d'estacions de treball amb el programari adequat per a l'anàlisi i la visualització de dades. A la part experimental, disposem de dos laboratoris, un de centrat en l'estudi de la dinàmica de làsers de semiconductor i un altre de centrat en la construcció i l'anàlisi de circuits electrònics dissenyats expressament per a l'estudi de la dinàmica no lineal i estocàstica.

Personal

El departament té associats onze investigadors de plantilla, vuit investigadors postdoctorals (incloent-hi tres contractats del programa Ramón y Cajal), catorze estudiants de doctorat i té l'ajuda d'un tècnic electrònic, un d'informàtic i un administratiu (dades de la memòria d'activitats de 2003). Una característica del nostre departament és que la majoria dels estudiants de doctorat i investigadors postdoctorals provenen d'altres països. Òbviament, el nombre d'investigadors no permanents i estudiants ha fluctuat durant els darrers anys al voltant dels valors actuals. Cal destacar també l'estada per períodes més o menys llargs (de pocs mesos a un any) de visitants «seniors» de diferents institucions estrangeres (europees, nord-americanes o de l'Amèrica Llatina).

*Presentació a càrrec de **Pere Colet**, **Maxi San Miguel** i **Raúl Toral**.

Activitat de recerca

El Departament de Física Interdisciplinària participa en l'actualitat en sis projectes finançats per la Comissió Europea, dos de finançats per l'European Science Foundation, dotze de finançats pel Govern espanyol, quatre de finançats pel Govern balear, així com en una xarxa temàtica de la Generalitat de Catalunya, a més de diversos projectes de cooperació finançats pel CSIC i la UIB. La mitjana de finançament a través de projectes d'investigació en els últims anys és de: 300.000 euros/any. El finançament total dels projectes vigents el 2003 fou d'1.243.594 euros.

El fruit de l'activitat investigadora del departament des de la seva creació el 1995 es pot resumir en prop de 500 publicacions internacionals i la lectura d'11 tesis doctorals. Com a dada indicativa del pes específic del departament dins el panorama de la física espanyola, podem dir que hem publicat 35 articles a *Physical Review Letters*, cosa que constitueix el 10 % dels articles publicats en aquesta revista per investigadors del CSIC (i el 3,6 % dels publicats per investigadors espanyols en aquest mateix període) des de l'any 1995.

Entre les col·laboracions científiques, i probablement a causa de raons històriques, cal destacar les que es mantenen amb investigadors de les universitats catalanes. Com a exemple, podem dir que participem en una xarxa de la Generalitat de Catalunya amb la Universitat de Barcelona i la Universitat Politècnica de Catalunya. També col·laborem activament amb el Departament de Recursos Naturals de l'IMEDEA i amb moltes universitats i centres de recerca tant espanyols com estrangers. Una mostra del caràcter interdisciplinari del departament és que s'han establert col·laboracions amb departaments de Biologia, Química, Filosofia, Sociologia, Economia, etc.

Línies de recerca

Les línies i objectius d'investigació actuals i per als pròxims anys estan descrits a les seccions (a-f) que segueixen. Es pot distingir una línia generalista (a), d'activitat transversal que encarrila, barreja i redistribueix idees i de la que pegen les altres línies:

a) Sistemes complexos. Física no lineal i estadística

Els sistemes macroscòpics lluny de l'equilibri mostren fenòmens que ocorren a escales de temps i longitud que difereixen en ordres de magnitud de les escales microscòpiques (atòmiques) dels seus constituents. En aquestes condicions, els sistemes poden exhibir canvis de fase macroscòpics, conducta temporal caòtica, formació de patrons i conductes similars que són normalment descrits per equacions dinàmiques no lineals, siguin deterministes o estocàstiques, dels paràmetres d'ordre rellevant.

Al Departament de Física Interdisciplinària, ens de-

diquem a problemes fonamentals de la física estadística (estudis de canvis de fase, desenvolupament de noves tècniques de simulació, etc.) així com a les aplicacions (biopolímers, sistemes socials, etc.). Una altra línia d'actuació engloba sistemes dinàmics, incloent-hi teoria del caos, sincronització no lineal i sincronització caòtica, influència del renou i del forçament extern, excitabilitat i coherència estocàstica, etc. Els estudis teòrics es completen amb implementacions en circuits electrònics.

S'ha dedicat un gran esforç a la interrelació entre els graus de llibertat espacials i temporals que condueixen a la formació de patrons. Els estudis inclouen sistemes model (equacions d'amplitud) i situacions més realistes, incloent-hi especialment aplicacions a sistemes òptics. Així mateix s'estudien aspectes genèrics de fenòmens crítics en transicions de fase i emergència de fenòmens cooperatius així com sistemes adaptatius.

Com a mostra representativa dels problemes estudiats, citarem els treballs en l'equació complexa de Ginzburg-Landau (caos, forçament extern, equació vectorial, formació de patrons, dinàmica de defectes), la inestabilitat de Kuppers-Lortz, la intermitència espaciotemporal induïda per termes de renou, dinàmica de poblacions, sincronització de fase a oscil·ladors vectorials, etc.

b) Òptica quàntica i no lineal. Informació quàntica

Els estudis sobre òptica quàntica i no lineal exploren aspectes fonamentals de la interacció de la llum làser amb la matèria amb vista a aplicacions en tecnologies emergents en el camp de la fotònica.

Una línia central en la nostra investigació és l'estudi de la formació d'estructures espacials transversals, estructures localitzades i solitons en cavitats òptiques plenes d'un medi no lineal. Descriuim diferents règims dinàmics i caracteritzem les inestabilitats a què duen les diferents estructures espacials, incloent-hi la transició al caos espaciotemporal i la turbulència òptica.

A més estudiem els fenòmens quàntics macroscòpics que ocorren en aquestes estructures espacials. Estan associades a correlacions i fluctuacions originades per la presència de fluctuacions quàntiques del buit. En particular, considerem el nou fenomen d'estructures de renou quàntic sostingut. També explorem l'ús de cavitats òptiques no lineals pel processament de la informació i el processament totalment òptic d'imatges, ambdós a nivells clàssics i quàntics. En particular, considerem el filtratge de renou i la millora de contrast.

Els estats quàntics entrellaçats són la base de noves aplicacions tecnològiques en els processos d'informació quàntica com ara la computació quàntica, la criptografia quàntica i la comunicació quàntica. En particular, la teleportació d'un estat quàntic mitjançant parelles de fotons entrellaçats ja s'ha aconseguit experimentalment. Estudiar les propietats característiques d'aquests estats

entrellaçats és també un dels temes de treball. En particular, mitjançant un procés de simulació, estudiem quan un estat és entrellaçat o no, i en quines condicions pot ser útil per al procés de teleportació, també analitzem la possibilitat de produir estats quàntics entrellaçats mitjançant l'aplicació de portes quàntiques.

Els temes més representatius inclouen les estructures sostingudes per renou i estructures localitzades en ressonadors òptics no lineals; patrons de polarització, parets de Bloch i defectes vectorials en un oscil·lador paramètric òptic (OPO); turbulència òptica; correlacions quàntiques en els patrons òptics; fluctuacions quàntiques en sistemes òptics no lineals; fluctuacions clàssiques i quàntiques en el processament d'imatges; propietats d'estats quàntics entrellaçats; etc.

c) Dinàmica de dispositius optoelectrònics

La nostra investigació se centra en les propietats dinàmiques dels dispositius optoelectrònics, especialment dels làsers i amplificadors òptics de semiconductor. Estem interessats en la descripció dels processos físics i els efectes no lineals que ocorren en estructures longitudinals i verticals, així com en les seves futures aplicacions en tecnologies de la informació. Els problemes objecte d'estudi inclouen propietats relacionades amb efectes de renou com ara fluctuacions en el temps d'encesa (*jitter*), i canvis en la freqüència d'emissió durant el transitori d'encesa (*chirping*), ressonància estocàstica, dinàmica de la polarització de la llum, fenòmens d'autopulsació, comportaments excitables, dinàmica de modes transversals i solitons de cavitat en dispositius d'àrea ampla, efectes de realimentació òptica, làsers caòtics i làsers acoblats, xarxes de làsers, etc. Fem models bàsics teòrics i a més estem ben equipats per fer simulacions numèriques extensives i caracterització experimental.

Hi ha alguns temes representatius com ara l'estudi de la dinàmica de spin, polarització de la llum i dinàmica transversal en làsers de cavitat vertical i emissió superficial; caos en làsers i aplicacions en comunicacions òptiques codificades; ressonància i coherència estocàstica en làsers de semiconductor; amplificadors òptics de semiconductor, etc.

d) Física d'estructures de semiconductor. Nanociència

La miniaturització dels circuits electrònics està arribant al límit en què necessitem els principis de la mecànica quàntica per entendre'n el funcionament. S'espera que aquests principis puguin donar lloc a l'aparició de noves tecnologies com ara l'espintrònica (basada en el transport de l'spin) o la computació quàntica (basada en la possibilitat dels estats quàntics entrellaçats), dos exemples que demostren el gran interès de la comunitat científica en nanociència i nanotecnologia.

A l'IMEDEA investiguem la modelització teòrica d'estructures electròniques, també anomenades *punts*

quàntics, de mida típica en l'escala dels nanòmetres. Els punts quàntics més estudiats són els que s'obtenen dins de materials semiconductors mitjançant elèctrodes metàl·lics que indueixen el confinament. Hem analitzat la resposta en camps elèctrics i magnètics, i el paper que tenen distintes interaccions, com ara l'acoblament spin-òrbita i la repulsió entre electrons. Aquestes propietats determinen en gran manera les interaccions de la nanoestructura amb el medi que l'envolta.

e) Dinàmica de fluids i fluids geofísics

El flux de fluids és un procés natural que apareix en una gran diversitat d'escala, des de capil·lars sanguinis fins a borrasques a l'atmosfera. També es dona en contextos d'interès tecnològic, on la seva comprensió és essencial en el disseny d'aeronaus, o la fabricació de materials, per exemple.

Els nostres estudis es concentren en dues direccions de recerca: d'una banda, analitzem fenòmens bàsics en el flux de fluids, com ara processos d'agitació i mescla, reaccions químiques i biològiques, inestabilitats, formació d'estructures, moviment de traçadors no ideals, etc. El punt de vista de l'advecció caòtica resulta convenient en aquests temes. D'altra banda, apliquem els conceptes i mètodes anteriors a contextos geofísics, en particular a dinàmica oceànica: models de transport, heterogeneïtat de plàncton, predicció oceànica, efectes de forçaments estocàstics, etc. Alguns dels problemes concrets tractats són: estructures espacials en sistemes reactius; advecció de partícules amb la mateixa densitat que el fluid; dinàmica oceànica i de plàncton; advecció caòtica en fluxos realistes tridimensionals.

f) Biofísica i fenòmens no lineals en fisiologia

Els éssers vius són estructures supramoleculares en les quals molts dels factors responsables del funcionament de nombrosos processos biològics són encara poc entesos. En alguns casos, la major part de la complexitat molecular pot ser ignorada en una visió simplificada on les eines de la mecànica estadística i física no lineal, així com les noves metodologies computacionals, poden aplicar-se per caracteritzar l'estructura i la dinàmica dels sistemes biològics.

La nostra investigació es concentra en el comportament de membranes cel·lulars, dinàmica de polímers i sistemes tensioactius relacionats amb greixos, estructura i plegament de DNA i proteïnes, transferència d'energia intracel·lular i intercanvi d'informació basat en xarxes reguladores i processos de sincronització, modelatge d'ecosistemes, modelatge d'activitats fisiològiques.

Els temes més representatius inclouen l'absorció de cadenes rígides de polímers, l'estudi del moviment de proteïnes induït per fluctuacions o el modelatge del creixement de praderes aquàtiques de posidònia a la costa mediterrània, tècniques no lineals per a l'anàlisi de dades de l'activitat neuronal obtingudes mitjançant FMRI

(*functional magnetic resonance imaging*), fenòmens no lineals en l'audició de sons complexos, anàlisis de sèries temporals d'arítmies cardíques, aplicació de mètodes de Montecarlo al disseny de molècules per al reconeixement d'objectius específics amb potencials aplicacions farmacològiques.

g) Models basats en agents. Dinàmica de sistemes socials

Els sistemes socials són exemples per excel·lència de sistemes complexos. Les propietats de les nostres societats emergeixen de la interacció d'un gran nombre d'individus.

Amb l'ús de la teoria de jocs, la mecànica estadística, models basats en agents i la teoria de xarxes complexes desenvolupem conceptes, eines i models destinats a descobrir alguns dels mecanismes bàsics subjacents en la

dinàmica dels sistemes socials. Entre els fenòmens estudiats podem mencionar la coevolució en xarxes, l'emergència de la cooperació i la coordinació, la globalització, la polarització i la difusió cultural.

Els temes més representatius inclouen: el dilema del presoner en xarxes adaptatives; dinàmica sociocultural; el model d'Axelrod per a la globalització de la cultura; models de difusió de rumors i d'opinions minoritàries; influència de la xarxa social d'interaccions en el model del votant; jerarquies creades per individus i estructures directives.

Podeu trobar informació més detallada de les nostres activitats, seminaris, ofertes de beques, etc., incloent-hi presentacions de resultats i accés directe a totes les nostres publicacions des de 1995, a la nostra pàgina web: <http://www.imedeia.uib.es/Physdept>.



Ve de la pàgina 1

La competència exclusiva de la Generalitat queda recollida en altres articles pel que fa a la recerca, el desenvolupament, la transferència tecnològica, la innovació de les explotacions i les empreses agràries i alimentàries (article 116), la recerca científica en matèria esportiva (article 134), la promoció i la regulació de la qualitat, la innovació i la recerca industrials, i també les dels organismes de normalització i de les entitats d'acreditació d'àmbit autonòmic (article 139), i sobre el Servei Meteorològic de Catalunya i climatologia, que inclou la recerca en aquests àmbits i l'elaboració de la cartografia climàtica (article 144).

Hi ha altres articles que fan referència a les competències de la Generalitat en l'àmbit de la recerca. Així, per exemple, l'article 172 indica que la Generalitat, tot respectant l'autonomia universitària, té competència exclusiva sobre el règim retributiu del personal docent i investigador contractat de la Generalitat i l'establiment de les retribucions addicionals del personal docent funcionari. D'altra banda, té competència compartida en la regulació del règim del professorat docent i investigador contractat i funcionari, i en l'avaluació i la garantia de la qualitat i de l'excel·lència de l'ensenyament universitari, així com del personal docent i investigador.

En definitiva, el projecte de nou Estatut, si finalment veu la llum tal com ha estat aprovat pel Parlament, pot ser una eina molt potent per començar a bastir una autèntica política científica catalana, i per tant molt més propera a les necessitats socials i potencialitats reals del nostre país. Òbviament, l'aprovació d'aquest nou Estatut obriria la porta al govern català perquè elaborés una llei de la ciència, amb l'objectiu de regular l'exercici de les noves competències, especialment les de finançament, foment, organització, seguiment i control dels centres de recerca i del personal investigador de Catalunya. Però, si escau, de tot això ja en parlarem un altre dia.